

Internationale Zeitschrift für
Bauinstandsetzen
2. Jahrgang, Heft 6, 1996

Ökologische Beurteilung von Bauinstandsetzungen

Klaus Richter

Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA)
Abteilung Holz, Dübendorf, Schweiz

Zusammenfassung

Wegen der bedeutenden Umweltwirkungen, die von Bauvorhaben und Bautätigkeiten ausgehen, werden seit einigen Jahren auch Werkstoffe des Bauwesens und Bauprodukte in Ökobilanzen untersucht. Übergeordnetes Ziel ist dabei, in einer Lebenszyklusbetrachtung alle durch ein Bauprodukt ausgelösten Umweltbeeinflussungen zu ermitteln und transparent zu machen. Damit wird es möglich, die Umweltrelevanz einzelner Phasen und Prozesse zu erkennen und Entscheidungshilfen für eine ökologische Optimierung abzuleiten. Die derzeit im TC 207 des ISO erarbeiteten methodischen Vorgaben (14040ff) werden kurz aufgezeigt und bisherige Anwendungen von Ökobilanzen im Bausektor vorgestellt. In einer Variantenbetrachtung zu Fensterrahmen werden die Auswirkungen von Unterhalts- und Instandsetzungsarbeiten gegenüber einer frühzeitigen Auswechslung und einer wartungsfreien Lösung beispielhaft dargestellt.

Stichwörter: Ökobilanz, Umweltbeeinflussung, Lebenszyklus, Umweltverträglichkeit

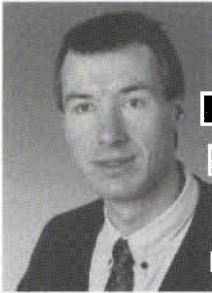
Environmental assessment of building restoration

Abstract

Because construction affects our environment to a significant extent, building materials and products have been evaluated in Life Cycle Assessment (LCA) for several years. The technique aspires to quantify the potential environmental impacts of a product system throughout its life cycle. It is used to identify and realize opportunities to improve the environmental aspects of processes, and to compare

between products with equivalent function and performance in order to select the environmentally best one. The key features and methodological framework currently discussed in ISO TC 207 (ISO 14040ff) are summarized, and an application to building construction is presented. As an example it is shown how restoration and maintenance of window frames can be evaluated as compared to an early total change and a service-free window.

Key words: *Life Cycle Assessment (LCA), environmental impact, life cycle, sustainability*



Dr. Klaus Richter, Studium der Holzwirtschaft an der Universität Hamburg, Wissenschaftliche Mitarbeit in DFG-Projekten, u.a. zweijähriger Forschungsaufenthalt am spanischen Holzforschungsinstitut in Madrid. Promotion zum Dr. rer. nat. Seit 1987 wissenschaftlicher Mitarbeiter der Abteilung Holz der EMPA Dübendorf, Arbeitsgebiete Holzwissenschaft, Holztechnologie, Holzverwendung sowie ökologische Beurteilung von Bauprodukten. Von 1992 bis 1993 Gastwissenschaftler am USDA Forest Products Laboratory in Madison, Wi.

1 Einleitung

Die Zusammenhänge zwischen der wirtschaftlichen Entwicklung der letzten Jahrzehnte und den Klima- und Umweltveränderungen sowie deren Auswirkungen auf das Wohl der Menschen beschäftigen heute nicht mehr nur eine kleine Gruppe von Wissenschaftlern. Die spürbaren Folgen der uns weltweit bedrohenden Umweltprobleme sind zu einem öffentlichen Anliegen höchster Priorität geworden. Als Folge werden immer mehr Stimmen laut, die weniger umweltbelastende Verfahren, Prozesse und Produkte fordern, um einen Beitrag zum Abbau der Umweltzerstörung leisten zu können.

Wenn die Umweltverträglichkeit als neuer Entscheidungsparameter zukünftig eine Bedeutung haben soll, so muss diese messbar, nachvollziehbar und skalierbar gemacht werden. In den letzten Jahren wurden verschiedene Ansätze entwickelt, die dieses Ziel auf Produkt-, Unternehmens- oder Materialebene anstreben. Allen Bewertungsmethoden gemeinsam ist, dass Aussagen über die Umweltwirkungen stets auf einem möglichst vollständigen Inventar der Stoff- und Energieflüsse basieren müssen, dessen Ermittlung somit den zentralen Bestandteil aller Umweltanalysen ausmacht. Vollständig bezieht sich hierbei sowohl auf die quantitative als auch auf die zeitliche Dimension. Es sind zunächst für jede betrachtete Bewertungsstufe alle stofflichen Eingänge und Abgaben zu erfassen. Wird der gesamte Lebensweg von der Förderung und Bereitstellung der eingesetzten Roh-, Halb- und Hilfsstoffe über die Herstellung, Montage-, Nutzungs-, Unterhalts-, Entsorgungs- sowie alle Transportaufwendungen erfasst, so liegt eine Lebenszyklusanalyse vor. Die ökologische Bewertung der Stoff- und Energieflüsse führt dann zur Ökobilanz.

2 Ökobilanzen zur Umweltanalyse von Produkten - Stand der Normierung

Während sich materialtechnische Eigenschaftswerte, teilweise durch international gültige Prüfvorschriften, messen und vergleichen lassen und ökonomische Bewertungen seit jeher eine wesentliche Grundlage für Handelsgeschäfte darstellen, fehlten bis vor kurzem zur Einschätzung von Umweltauswirkungen sowohl festgelegte Vorgehensweisen als auch Parameter zur Skalierung der Effekte. Dies hatte einerseits zur Folge, dass Aussagen und Erkenntnisse von frühen, durchaus seriös durchgeführten Ökobilanzen, insbesondere bei vergleichenden Betrachtungen, von Vertretern der ungünstig bewerteten Produkte in Zweifel gezogen wurden, öffnete andererseits aber auch denjenigen die Möglichkeit, die durch bewusste Manipulation bei der Durchführung von Studien ihre Produkte in ein bewusst günstiges Licht stellen wollten. Hier war rasche Abhilfe nötig, um die grundsätzlich positiven Ansätze der Methodik nicht durch Missbrauch zu ersticken. Geleitet von einer der

erkannten Umweltproblematik durchaus angemessenen Dynamik entwickelten sich in verschiedenen Ländern Europas und den USA in den letzten Jahren Ansätze zur Strukturierung der Vorgehensweise bei der Ökobilanzierung. Wegweisend waren hier vor allem die im Rahmen der SETAC [1] durchgeführten Arbeiten, die eine Ökobilanz in folgende, miteinander verbundene Teilschritte untergliedern.

Übergeordnetes Ziel war dabei, die Studien nach aussen hin transparent und nachvollziehbar zu machen, gewisse Mindestanforderungen an den Umfang und die Qualität der zu erhebenden Daten zu stellen, um damit die Aussagekraft der Studien zu verbessern und Fehlinterpretationen zu vermeiden. Dieses Konzept wurde in leicht modifizierter Weise als Basis für die gegenwärtig in der ISO (International Organization of Standards) vorangetriebenen Normierungsbemühungen akzeptiert. Dort ist im Technischen Komitee 207 'Umweltmanagement' eine Arbeitsgruppe 'Ökobilanzen/Lebenszyklusanalysen' tätig, die die in Tabelle 1 aufgeführten Standards erarbeitet:

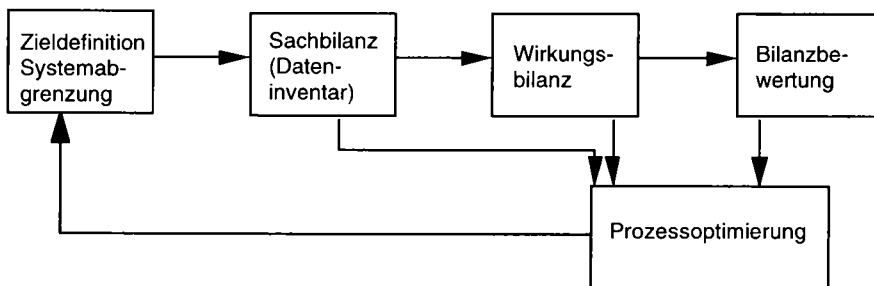


Abb. 1: Phasen der Ökobilanzierung

Fig. 1: Setup of an LCA

Tabelle 1: Normenvorlagen zur Ökobilanzierung

Table 1: Drafts of LCA Standards

Norm	Inhalt	Stand (10/96)
ISO 14040	Prinzipien und Verfahren	Entwurf zur Abstimmung (DIS)
ISO 14041	Sachbilanz	Entwurf
ISO 14042	Wirkungsabschätzung	Entwurf
ISO 14043	Interpretation	Entwurf

Obwohl der Diskussionsbedarf und die Feinabstimmung insbesondere zu den heiklen Punkten der Wirkungsabschätzung und Interpretation noch eine geraume Zeit in Anspruch nehmen wird, kann davon ausgegangen werden, dass in absehbarer Zeit ein international gültiges Normenwerk zur Verfügung stehen wird, an dem sich eine Umweltbewertung von Produkten zu orientieren hat.

3 Methode der Ökobilanzierung

3.1 Zieldefinition

Zu Beginn muss eine umfassende und präzise Zieldefinition und Festlegung des Bilanzraums vorgenommen werden. Hier wird Auskunft gegeben, was mit einer Studie beabsichtigt ist (z.B. Optimierung, Vergleich, Marketing), wer das Zielpublikum ist (z.B. Betrieb, Kunden, Öffentlichkeit) und wie die Erkenntnisse verwendet werden sollen (intern, Werbung, Wissenschaft). Der Gültigkeitsbereich der Studie ('Bilanzraum') ist hinsichtlich seiner geographischen und zeitlichen Grenzen festzulegen, und der Untersuchungsgegenstand ist als funktionale Einheit sehr genau anzugeben, auf diese werden die Ergebnisse der Studie umgelegt. Es ergibt sich beispielsweise ein wesentlicher Unterschied in den Ergebnissen, ob bei Wärmedämmstoffen auf eine Masseneinheit, eine Volumeneinheit oder auf eine einheitliche Dämmleistung hin bilanziert wird. Wenn nötig, sollen die Kriterien, die zur Festlegung einer bestimmten funktionalen Einheit führten, angegeben und begründet werden. Ferner wird die angestrebte Qualität der Grundlagedaten festgelegt und entschieden, ob die Gesamtstudie einer kritischen Begutachtung durch unabhängige Dritte unterzogen werden soll.

3.2 Sachbilanz

Eine zentrale Bedeutung sowohl hinsichtlich des Zeitaufwandes als auch im Hinblick auf die Ergebnisrelevanz kommt dann dem Dateninventar (Sachbilanz) zu, in dem die Ergebnisse der Stoff- und Energieflüsse der Lebenszyklusprozesse zahlenmässig abgelegt sind. Dazu werden die meist komplexen Abläufe einer Bearbeitungskette in kleine, überschaubare Module gegliedert und für jedes Modul in einer Input-/Outputanalyse die relevanten Stoffflüsse erhoben. Obwohl dieser Schritt im Vergleich zu den anderen Bearbeitungsstufen mehrheitlich auf objektiven, messbaren Sachverhalten aufbaut, sind auch hier Festlegungen und Annahmen notwendig, um die Zuordnung der Verursachungen richtig vorzunehmen (sog. Allokationen, z.B. bei Koppelprodukten). Energetische Verbräuche (Strom, Wärme, Dampf) werden unter Berücksichtigung der Wirkungsgrade ebenfalls als stoffliche Ressourcenangaben berücksichtigt (z.B. Verbrauch an Kohle, Rohöl, Uran). Am Ende werden die bearbeiteten Module miteinander verknüpft

und fehlende Daten von vor- oder nachgeschalteten Prozessen aus der Literatur ergänzt. Hierzu stehen heute bereits umfangreiche Dateninventare zur Verfügung, z.B. zur Energiebereitstellung [2]. Insbesondere bei der Sachbilanzierung ist die genaue Beachtung und Einhaltung der Systemgrenzen notwendig, um Stoffe und Güter (z.B. bei Recyclinggütern) und deren anteilige Umweltwirkungen richtig zu bilanzieren.

3.3 Bilanzbewertung/Wirkungsbilanz

Die Zuordnung der in der Sachbilanz aufgenommenen Ressourcenentnahmen (inputseitig) und Emissionen (outputseitig) zu Umweltproblemen oder -kategorien erfolgt in der Wirkungsbilanz. Sie stellt einen ersten Schritt zur Bewertung der Stoffflussdaten dar. Dazu werden in der Regel noch naturwissenschaftliche Kriterien zugrunde gelegt. Während zu Beginn der Ökobilanzierung die Belastung der Umweltkompartimente durch sogenannte kritische Volumen ausgedrückt wurde, wird seit einigen Jahren die von [3] vorgeschlagene wirkungsorientierte Klassifizierung zur Wirkungsabschätzung eingesetzt. Diese Modellbetrachtung strebt an, die ökologischen Folgen der in der Sachbilanz ermittelten Stoffe zu parametrisieren, indem den Emissionen jeweils eine definierte ökologische Folgewirkung zugeordnet wird. So können zum Beispiel ozonabbauende Stoffe über ihr Ozonabbaupotential, Treibhausgase über ihr Treibhauspotential aggregiert werden. Allerdings sind nicht alle der so errechenbaren Wirkungsbeiträge in der Fachwelt akzeptiert. In Tabelle 2 sind die am meisten verwendeten Wirkungseffekte aufgeführt und mit einer Beurteilung der derzeitigen Akzeptanz der Methode nach [4] versehen. Die Zusammenstellung zeigt, dass insbesondere die Modelle zu den Ursache-Wirkungs Mechanismen der Potentiale Öko- und Humantoxizität umstritten und nur als vorläufiger Ansatz zu betrachten sind.

Zusätzlich wird in vielen Studien auch weiterhin der Primärenergieverbrauch bzw. der Verbrauch an energetischen Ressourcen als ökologische Leitgrösse angegeben und die Massen der in Deponien endzulagernden Stoffe angegeben.

3.4 Interpretation

Da die Wirkungsbilanz somit im Gegensatz zu einer ökonomischen Bilanz nicht nur eine Bewertungseinheit (Geld) ausweist, sondern unterschiedlich viele Umweltkategorien berücksichtigt, muss in einem abschliessenden Schritt der Bilanzbewertung eine Interpretation der Ergebnisse angestrebt werden. Dies ist der zur Zeit noch umstrittenste Punkt der Ökobilanzierung, weil eine Gewichtung und Zusammenfassung der Wirkbilanz oftmals nicht mehr allein anhand objektiver Vorgaben möglich ist, sondern dass man auch politische, soziale und sozioökonomische Rahmenbedingungen beachten muss.

Tabelle. 2: Wirkungsorientierte Bewertung nach [3]

Table. 2: *Effect oriented assessment* [3]

Umweltwirkung	Erfassung als	Einheit	Beurteilung der Bewertungsmethodik nach [4]
Verstärkung des Treibhauseffekts	Treibhauspotential (GWP)	kg CO ₂ -Äquivalent	1)
Abbau der Ozonschicht in der Stratosphäre	Ozonabbaupotential (ODP)	kg CFC13- (CFC-11) Äquivalent	1)
Versäuerung	Versauerungspotential (AP)	kg SO ₂ -Äquivalent	2)
Photosmog in der erdnahen Luftschicht	Photochemisches Ozonbildungspotential (POP)	kg C ₂ H ₄ -(Ethylen) Äquivalent	2)
Überdüngung von Böden und Gewässern	Eutrophierungspotential (EP)	kg PO ₄ -Äquivalent	2)
Gefährdung der menschlichen Gesundheit	Potential Humantoxizität, Klassifikationsfaktoren für Luft, Wasser, Boden	kg kritisch belastetes Körpergewicht	3)
Schädigung von Ökosystemen	Potential Ökotoxizität Wasser	m ³ kritisch belastetes Wasser	3)

1) naturwissenschaftlich abgestützte Aggregationsmethodik vorhanden

2) naturwissenschaftliche abgestützte Aggregationsmethodik vorhanden, aber überarbeitungsbedürftig

3) naturwissenschaftliche abgestützte Aggregationsmethodik noch nicht entwickelt

Allerdings zeigen bisherige Erfahrungen, dass auch ohne diesen abschliessenden Schritt aus den einzelnen Bearbeitungsstufen der Ökobilanz oftmals schon Empfehlungen und Entscheidungsgrundlagen für eine Verbesserung der betrachteten Prozesse ableitbar sind (s. Abb. 1), die über eine Anpassung bzw. Rückkoppelung bei den Systemgrenzen in ihrer Auswirkung zudem modellhaft betrachtet und verifiziert werden können.

4. Ökobilanzierung von Bau- und Werkstoffen

4.1 Voraussetzungen

Während in der Anfangsphase der Ökobilanzierung Produkte aus dem Verpackungsbereich mit Abstand am meisten untersucht wurden, werden seit

einigen Jahren auch Baumaterialien und -produkte in Ökobilanzen beurteilt. Die Voraussetzung dafür bilden Dateninventare über die herstellungsbezogenen Stoff- und Energieflüsse. Erste umfassende Zahlen hierzu hat Kohler publiziert [5] und im Rahmen seiner Arbeiten periodisch aktualisiert [6]. Aktuelle Daten zur grauen Energie von Baustoffen sind in [7] zusammengetragen; umfassende, aus stofflichen Ein- und Austrägen abgeleitete Ökoinventare und Wirkungsbilanzen von Baumaterialien wurden von [8] berechnet. In diese Datensammlungen sind auch Sachbilanzen zu Wärmedämmstoffen eingeflossen [9]. Darüber hinaus haben auch einzelne Industrieverbände (Backstein-, Kalksandsteinindustrie, Kunststoffindustrie, Aluminiumindustrie) mit Ihren Mitgliedsfirmen begonnen, für ihre Halbprodukte betriebsübergreifende Sachbilanzdaten zu erstellen und zu publizieren [10 - 13].

Umfangreiche Angaben über ökologisch relevante Eigenschaften von Bauprodukten werden nach vorgegebenen, standardisierten Vorgehen seit einigen Jahren auch über den Deklarationsraster des SIA zusammengetragen [14]. Zwar strebt der Raster bewusst nicht die hohe Auflösung einer Ökobilanz an, doch werden die von den Herstellern zu leistenden Angaben eine ökologische Grobeinteilung ermöglichen, die von Planern und Ingenieuren in einem frühen Planungszeitpunkt berücksichtigt werden sollen.

4.2 Umsetzung

Ein erstes Beispiel zur Verwendung der verfügbaren Umwelt-Informationen in einer materialübergreifenden Bauteilbewertung stellt die SIA Dokumentation D0123 [14] vor. Dort wird, zumindest qualitativ, auch eine Bauteilinstandsetzung beachtet.

Für acht Bauteilkategorien des Hochbaus werden insgesamt 65 Konstruktionen aus dem Geschosswohnungsbau gegenübergestellt, die grösstenteils aus ökologisch und gestalterisch fortschrittlichen Wohnbauten stammen und die die derzeitigen technischen Anforderungen bezüglich Schall, Wärme und Bautechnik in vergleichbarer Weise erfüllen. Die Bewertung der Umweltauswirkungen erfolgt anhand von quantitativen, wissenschaftlichen Indexzahlen (für Rohstoffaufbereitung und Herstellung) und qualitativen, auf die Baupraxis ausgerichtete Profilkriterien (für die Verarbeitung auf der Baustelle, die Nutzung und die Entsorgungsphase). Die auf der Ökobilanzmethodik basierten Indexzahlen weisen den Treibhauseffekt in CO₂-Äquivalenten und die Versauerung in SO₂-Äquivalenten aus. Als Zusatzinformation wird der Primärenergieinhalt angegeben und die wichtigsten bauphysikalischen Kenngrössen, wie z.B. Masse, k-Werte, Schalldämmwerte, genannt.

Die Qualität der einbezogenen Grundlagendaten ist nicht bei allen Materialien gleich gut, die Grössenordnungen sind aber gewahrt. Im Unterschied zu den bau-

physikalischen Daten können die ausgewiesenen Umweltparameter je nach Produktionsstandort, Herstellungstechnologie und Transportdistanz erheblich variieren, ein Schwankungsbereich bei den Ergebnissen von $\pm 30\%$ ist angegeben. Der Zeitfaktor spielt für die Einschätzung der Umwelteinflüsse durch Rückbau-, Erneuerungs- und Entsorgungsprozesse eine wichtige Rolle, da sich mit längerer Nutzungsdauer die ökologische Rückzahldauer verbessert. Die Nutzungszeit der einzelnen Schichten wird nach den Angaben des Amts für Bundesbauten berücksichtigt. Für Gebäude und deren Tragstruktur wird die Nutzungszeit von 80 Jahren berücksichtigt. Für Vergleiche zwischen den Konstruktionen sind die Index-Zahlen der entsprechenden Konstruktion pro m^2 und pro Nutzungsjahr ausgewiesen.

Aus vier Bauteilkategorien sind als Beispiel die Ergebnisse der Indexwerte von je vier typischen Konstruktionen wiedergegeben (Tabelle 3). Die Indexdatenwerte beziehen sich ausschliesslich auf die erste Lebenszyklusphase 'bis Fabrikator'. Im Profil werden der Aufwand für die Baustellentransporte und Verarbeitung auf der Baustelle (B), die Emissionen bei der Verarbeitung sowie ökologisch/toxikologisch problematische Bestandteile während der Nutzung (R), die Instandhaltung und Instandsetzung sowie Ersatz und Erneuerung (N) und der spätere Rückbau und die Entsorgung (E) erfasst. Die Profilkriterien werden qualitativ auf einer Skala von günstig bis ungünstig beurteilt. Das Gesamturteil muss aus den Index- und Profilinformatoren abgeleitet werden.

Das Beispiel zeigt, wie Baukonstruktionen gleicher Funktion und ähnlichen Gebrauchswertes anhand quantifizierbarer Umweltparameter für die erste Phase des Lebenszykluses und qualitativer Kriterien für die späteren Lebensphasen miteinander verglichen werden können. Es muss versucht werden, die bisher nur qualitativen Beurteilungen zur zweiten Lebensphase der Konstruktionen in ähnlicher Weise zu quantifizieren wie die Herstellungsaufwendungen.

5 Umweltaspekte von Unterhalts- und Instandsetzungsarbeiten - Ein Szenario

Im Hinblick auf die bedeutenden Massen- und Energieströme, die mit der Realisierung von Bauvorhaben verbunden sind, sind Massnahmen zur Verlängerung der Nutzungs- und Einsatzzeiten von Bauprodukten nicht nur ökonomisch, sondern auch unter Umweltgesichtspunkten vorteilhaft zu sehen. Allerdings kann sich in Einzelfällen die Frage stellen, wie, wann und mit welchen ökologischen Konsequenzen diese Massnahmen durchgeführt werden. Die Antworten darauf können durch Ökobilanzuntersuchung der Szenarien gegeben werden.

Tabelle 3: Ökologische Beurteilung von ausgewählten Baukonstruktionen [nach 15]
 Table 3: Environmental assessment of construction elements [from 15]

Konstruktion	Bauteil	Index		Profil				Zusatzinformation	
	Nr.	CO ₂ äqu	SO ₂ äqu	B	R	N	E	PEI MJ/m ²	
		g/m ² a	g/m ² a					nicht er- neuerbar	erneuerbar (nutzbar)
Decken/Böden									
Beton	E0.09	1608	6.26	0	+	–	+	791	27 (–)
Holzbalken	E0.12	816	4.61	0	+	+	0	490	1079 (660)
Holzbalken Betonverbund	E0.13	821	4.86	–	+	–	0	553	499 (310)
Holz-Kasten- elemente	E0.14	853	3.78	–	+	+	+	691	2397 (1000)
Flachdächer									
Beton Umkehrdach	E1.15	1530	8.17	+	–	+	+	1461	25 (–)
Beton Bitumen	E1.18	2171	9.73	0	+	0	0	1540	37 (–)
Holzbalken Bitumen	E1.21	1059	6.61	0	0	0	0	982	921 (430)
Holzbalken PVC	E1.23	1266	6.86	0	–	0	0	731	964 (466)
Aussenwände über Terrain									
Backstein Faserzement	E4.38	1471	6.29	0	+	+	+	967	134 (–)
Kalksandstein zweischalig	E4.40	841	2.89	–	+	0	+	741	37 (–)
Porenbeton	E4.46	940	3.18	+	+	+	+	595	15 (–)
Holzständer Holzverkleidung	E4.47	574	3.10	0	+	0	+	493	1343 (650)
Holzständer Faserzement	E4.48	719	3.46	0	0	+	0	515	819 (526)

Index: CO₂äqu. = Treibhauseffekt SO₂äqu. = Versauerung (s. Tab. 2)

Profil: B = Bauprozess R = Relevante Bestandteile N = Nutzung E = Entsorgung

+ = günstig 0 = mittel – = ungünstig

Am Beispiel eines Einzelbauteils, z.B. eines Fensters, kann das prinzipielle Vorgehen dargestellt werden: In einer Ausschreibung seien aus optischen und ästhetischen Gründen Holzfenster vorgesehen, eine technische Nutzungszeit des Gebäudes von mindestens 30 Jahre soll erreicht werden. Es bieten sich die folgenden Varianten:

Tabelle 4: Untersuchte Varianten der Holzfenster

Table 4: Selected wood windows

Variante	Ausführung	Unterhalt/Instandsetzung
A	Holzfenster unbehandelt	Kein Unterhalt, Lebensdauer infolge Vermorschung der unteren Rahmen- und Flügelpartien 12 Jahre, d.h. das Fenster wird innerhalb der 30 Jahre zweimal ausgewechselt.
B	Holzfenster, lasierend gestrichen	Laut vorliegenden Erfahrungen muss das Fenster alle 4 Jahre aussen und alle 8 Jahre innen renoviert werden
C	Holzfenster, deckend weiss gestrichen	Laut vorliegenden Erfahrungen muss das Fenster alle 10 Jahre aussen und alle 20 Jahre innen renoviert werden
D	Holz-Aluminium-Fenster	mit wetterseitiger Aluminium-Blende, wartungsfrei

Die Sachbilanzen der zweiflügeligen Fenster sind einer umfassenden Ökobilanz von Fensterkonstruktionen entnommen [16]. Für die Berechnung in diesem Beispiel wurden nur die von den Fensterrahmen direkt verursachten Umweltwirkungen einbezogen, d.h. ohne die Verglasung und die Heizenergieverluste durch die Rahmen über die Betriebszeit (k-Werte der Fenster sind in etwa gleich). In Abbildung 1 a - d sind das Treibhauspotential, das Versauerungspotential, das Potential zur photochemischen Oxidantienbildung sowie die Sonderabfallmassen dargestellt.

Unter Umweltaspekten ist nach diesen vier Wirkungseffekten dem deckend gestrichenen Fenster der Vorrang zu geben. Es hat bei den drei Wirkungspotentialen die geringsten Schadenspotentiale, während das unbehandelte Fenster mit den besten ökologischen Grundwerten durch die zweimalige Auswechslung gesamthaft schlechter abschneidet als die durch Anstriche geschützten Holzfenster. Einzig beim Sonderabfall ist das unbehandelte Fenster die beste Variante, weil hier die chemischen Abfälle aus der Farbenproduktion verbucht werden. Hier ist dann auch das lasierte Fenster am schlechtesten, infolge der akkumulierten Farbmengen bei den

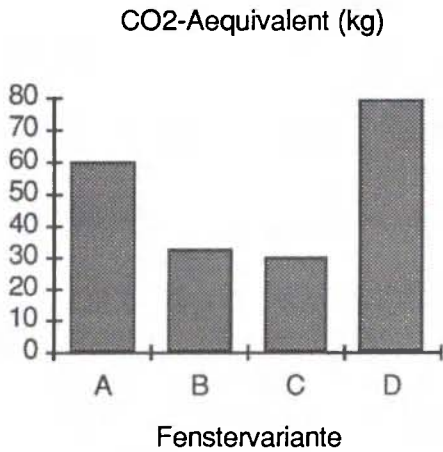


Abb. 1a: Treibhauspotential
Fig. 1a: Global Warming Potential

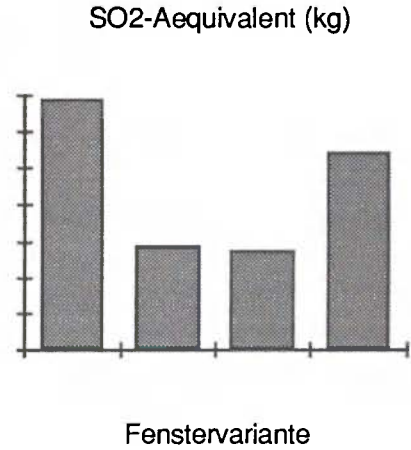


Abb. 1b: Versauerungspotential
Fig. 1b: Acidification Potential

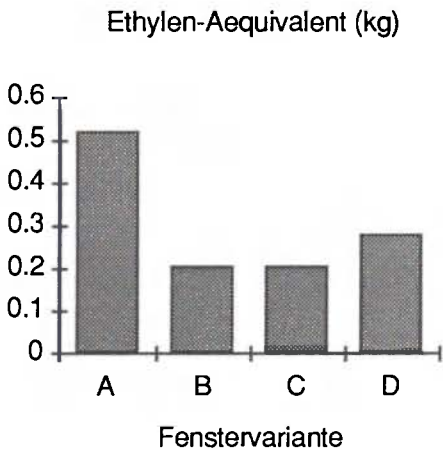


Abb. 1c: Ozonbildungspotential
Fig. 1c: Ozone Creation Potential

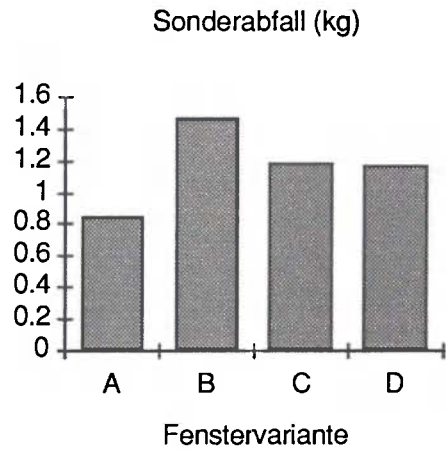


Abb. 1d: Sonderabfall
Fig. 1d: Hazardous Waste

Renovationen. Das wartungsfreie Holz-Alu Fenster ist in diesem Szenario durch die Belastungen aus der Aluminiumherstellung und Oberflächenbehandlung keine Alternative zum deckend gestrichenen Holzfenster. Es wären längere Einsatzzeiten notwendig, um die Primärbelastungen zu amortisieren. Auch ein höherer

Recyclinganteil bei den Verblendprofilen könnte die Umweltwirkungen des Holz-Alu Fensters deutlich herabsetzen.

Das Beispiel zeigt, dass eine Ökobilanz prinzipiell in der Lage ist, Entscheidungshilfen bei den angeführten Fragen zu geben. Gegenwärtig werden im Rahmen einer Diplomarbeit am IBWK der ETH Zürich Energie- und Stoffflussdaten einer Brückenpfeilersanierung erhoben sowie die Dauerhaftigkeit von Betonen mit und ohne Zusatzmittel ermittelt. Hintergrund ist die Frage, ob die mit der Verwendung von Betonzusatzmitteln angestrebte Verbesserung der Dauerhaftigkeit ökologisch sinnvoll ist, oder ob Bauinstandsetzungen bei Betonen ohne Zusatzmittel gesamthaft günstiger einzustufen sind.

Literatur

1. SETAC (Society for Environmental Toxicology and Chemistry), *Guidelines for Life-Cycle Assessment: A 'Code of Practice'*. 1. ed., Brussels (1993)
2. Frischknecht R., Hofstetter P., Knöpfel I. et al., *Ökoinventare für Energiesysteme*. Schlussbericht BEW/NEFF Forschungsprojekt 'Umweltbelastung der End- und Nutzenergiebereitstellung, 1. Auflage (1994)
3. Heijungs R., Guinée J.B. et al., *Environmental Life Cycle Assessment of Products. Guide and Background*. Centrum for Milieukunde, Leiden (1992)
4. Braunschweig A., *Wirkungskategorien/ Synopse*. Stand der Diskussion zur Systematik und Aggregationsmethodik. Thesenpapier 10.6.96 (1996)
5. Kohler N. A., *Analyse énergétique de la construction de l'utilisation et de la demolition de bâtiments*. These No. 623, EPFL, Lausanne, 190 S. (1986)
6. Kohler N. A., Herausgeber, *Energie- und Stoffflussbilanzen von Gebäuden während ihrer Lebensdauer*. Schlussbericht BEW Forschungsprojekt, EPFL-LESO/ifib Universität Karlsruhe, Karlsruhe. 9 Kapitel + Anhänge (1994)
7. Kasser U., Pöll M., *Graue Energie von Baustoffen*. Büro für Umweltchemie, Zürich, 75 S. (1995)
8. Weibel Th., Stritz, A., *Ökoinventare und Wirkungsbilanzen von Baumaterialien*. ETH Zürich, ESU-Reihe 1/95, 28 S. und Anhänge (1995)
9. Fischer M., Richter K., Gahlmann H., Menard M. *Energie- und Stoffbilanzen bei der Herstellung von Wärmedämmstoffen*. Forschungsbericht BEW/EMPA, 75 S. (1995)
10. Bruck, M., *Backstein-Mauerwerk. Ökologische Bewertung von Backsteinen und Backstein-Aussenwandkonstruktionen. Teil 1*. D-A-CH Bericht, Wien (1996)

11. Eden W., Kascmarek T., Meyer G., Waltermann G., Zapf H., *Ökobilanz für den Baustoff Kalksandstein und Kalksandstein-Wandkonstruktionen*, Forschungsbericht Forschungsvereinigung Kalk-Sand e.V., Hannover (1995)
12. Boustead I., Reports 1-8 for Association of Plastic Manufacturers in Europe, Brussels (1992, 1993, 1994, 1995)
13. Nordheim E., Lallemand Y., Ruff W., *Aluminium and Ecology*, Report from WG 1, Ecobalance European Average Situation. European Aluminium Association (1995)
14. SIA, Herausgeber, *Deklaration ökologischer Merkmale von Bauprodukten*. Überarbeiteter Entwurf, SIA Empfehlung 493, 6.5.96 (1996)
15. SIA, Herausgeber, *Hochbaukonstruktionen nach ökologischen Gesichtspunkten*. Dokumentation D0123, Bearbeiter Intep AG und P. Steiger, Zürich, 13 S. und Anhänge (1995)
16. SZFF/EMPA, *Ökologische Bewertung von Fensterkonstruktionen*. Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben, 187 S. (1996)